

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **2001-068296**

(43)Date of publication of application : **16.03.2001**

(51)Int.Cl.

H05G 2/00

(21)Application number : **11-287385**

(71)Applicant : **INSTITUTE OF TSUKUBA LIAISON CO LTD**

(22)Date of filing : **07.10.1999**

(72)Inventor : **KONDO KIMIO
MIURA NAGASUKE**

(30)Priority

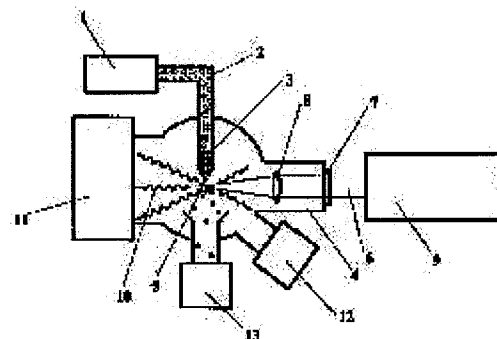
Priority number : **11180932** Priority date : **25.06.1999** Priority country : **JP**

(54) LASER STIMULATED X-RAY GENERATOR AND METHOD

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To generate a debris-free, high-luminance soft X-ray source, to improve X-ray conversion efficiency, and to reduce the cost with a simple and small structure by condensing and radiating ultrashort high-output laser pulses to a cluster generated by the gas injection into a vacuum chamber to stimulate it, and guiding the generated X-rays from the vacuum chamber.

SOLUTION: Ultrashort high-output laser pulses 6 are radiated through a laser pulse entrance window 7 and a condensing optical system 8 to a rare gas cluster 5 generated when rare gas 2 is injected into a high-vacuum chamber 4 by a pulse gas jet device 3, and the generated soft X-rays 10 are guided to a soft X-ray exposing device 11. The rare gas cluster 5 is made debris-free by this radiation, and the cluster 5 is expanded by being heated and has such a short amplitude that the density is not reduced locally. The wavelength of the excited laser from a high-output laser device 9 less expensive than an orbit radiation light device is in an ultraviolet-ray range, thereby the oscillation frequency of the electric field in a high-intensity optical electric field is increased, and the X-ray conversion efficiency is improved.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-68296

(P2001-68296A)

(43) 公開日 平成13年3月16日 (2001.3.16)

(51) Int.Cl.⁷
H 0 5 G 2/00

識別記号

F I
H 0 5 G 1/00

テーマコード(参考)
K 4 C 0 9 2

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平11-287385

(22) 出願日 平成11年10月7日 (1999.10.7)

(31) 優先権主張番号 特願平11-180932

(32) 優先日 平成11年6月25日 (1999.6.25)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 599088841

株式会社筑波リエゾン研究所
茨城県つくば市高野169番地1

(72) 発明者 近藤 公伯

茨城県つくば市並木2-303-103

(72) 発明者 三浦 永祐

茨城県つくば市竹園3丁目5番302棟308号

(74) 代理人 100110179

弁理士 光田 敦

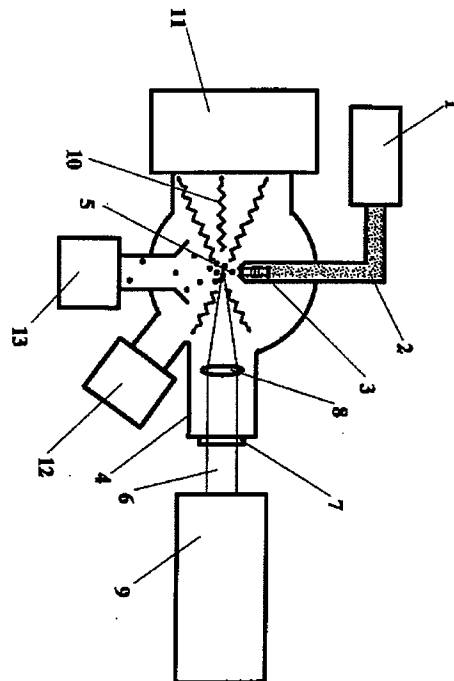
Fターム(参考) 4C092 AA06 AA07 AA14 AB21 AC09

(54) 【発明の名称】 レーザー励起X線発生装置及び方法

(57) 【要約】

【課題】 デブリーフリーで高輝度軟X線源を作り出すことができ、X線変換効率がすぐれた構造が簡単、小型で低コストのレーザー励起X線発生装置及び方法を提供する。

【解決手段】 パルスガスジェット装置3で、高真空チャンパー4に希ガス2を噴出することによって希ガスクラスタ5を発生させる、高出力レーザー装置9で希ガスクラスタ5に超短パルス高出力レーザー6を集光して照射し、軟X線10を発生する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 真空中にガスを噴出し、該ガスにレーザー光を照射して X 線を発生させるレーザー励起 X 線発生装置であって、

真空室と、

上記真空室に上記ガスを噴出することによってクラスターを発生させる装置と、

上記クラスターに超短パルス高出力レーザーを集光して照射し、上記クラスターを励起して X 線を発生するためのレーザー装置と、

上記 X 線を上記真空室から導出する導出部とを有することを特徴とするレーザー励起 X 線発生装置。

【請求項 2】 上記超短パルスは、該超短パルスを上記クラスターに照射した場合、該クラスターが加熱され膨張が始まり局所的な密度が低下しない程度に短い振幅を有することを特徴とする請求項 1 記載のレーザー励起 X 線発生装置。

【請求項 3】 上記超短パルス高出力レーザーの各パルスは、上記クラスターのうち夫々異なるクラスターを照射することを特徴とする請求項 1 又は 2 記載のレーザー励起 X 線発生装置。

【請求項 4】 真空中にガスを噴出し、該ガスにレーザー光を照射して X 線を発生させるレーザー励起 X 線の発生方法であって、

上記真空中に上記ガスを噴出することによってクラスターを発生させ、

上記クラスターに、レーザー装置によって、超短パルス高出力レーザーを集光して照射し、上記クラスターを励起して X 線を発生し、

上記 X 線を上記真空中から導出することを特徴とするレーザー励起 X 線の発生方法。

【請求項 5】 上記超短パルスとして、該超短パルスを上記クラスターに照射した場合、該クラスターが加熱され膨張が始まり局所的な密度が低下しない程度に短い振幅のパルスを利用することを特徴とする請求項 4 記載のレーザー励起 X 線の発生方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レーザー励起 X 線発生装置及び方法に関し、例えば、半導体メモリーの製造に使用されるリソグラフィ露光、物性研究、バイオテクノロジー分野における生体観測、ガン治療等の医療分野等各種の技術分野で利用されるレーザー励起 X 線発生装置及び方法に関する。

【0002】

【従来の技術】例えば、近年の半導体メモリー等はきわめて高集積度化されているが、このようなメモリーの製造においては、X 線リソグラフィ露光光源として 1Gbit を越えたあたりから X 線を用いる必要がある。我が国では、X 線リソグラフィの露光光源に軌道放射光装置

(SOR 光)を用いることが考えられている(例えば五明由夫、“次世代リソグラフィのコスト比較検討”第 59 回応用物理学会学術講演会 広島大学 15a-B-1 参照)。しかしながら SOR は規模が大きくコストも大きくなるため未だに問題がある。

【0003】これに対し、高出力レーザーパルスで高温高密度プラズマを作り出し(レーザープラズマ)、ここから発生する X 線をリソグラフィに利用するという動きがある(例えば、R. C. Spitzer, et. al. J. Vac. Sci. Technol. B11, 2986 (1993) 参照)。高出力レーザー装置自身は SOR 光装置に比べ桁違いに安価であり、且つ最近の技術開発により平均出力の高いものがコンパクトな装置(卓上サイズ)として実用化されている。

【0004】また、固体ターゲットを高出力レーザーで集光照射したときに生成されるレーザープラズマの X 線源としての特性は、レーザー核融合研究の進歩により解明されている(例えば、T. Mochizuki, et. al., Phys. Rev. A33, 525 (1986) 参照)。瞬間出力がある程度大きく(レーザープラズマが生成できる程度)、且つ平均出力の大きな装置があれば固体ターゲットを照射することで平均出力の大きな X 線源が可能となる。

【0005】しかしながら実際に X 線源としてこのようなレーザープラズマを使用する場合、強力なレーザーで照射された固体ターゲットからは高い運動エネルギーを持ったデブリー(欠片)が発生し、レーザーの集光光学系や X 線光学系に大きなダメージを与えるため実用化の際に大きな問題となっていた。

【0006】このことに対しいくつかの試みがなされている。例えば、ターゲットとしてテーブ状の固体を使用し、テーブを回転させることで常にフレッシュな面をレーザーが照射できるように工夫している(例えば、I. C. E. Turcu, et. al., Rev. Sci. Instrum., 67, 3245 (1996)、特開平 11-87090 号公報参照)。また、He ガスをレーザー照射部に吹き付けて上記のデブリーを抑えている。このような方法で平均出力 1W の X 線発生を波長 1nm の領域で行っている。しかしながらテーブターゲットそのものは高速回転すれば補充の必要があることや、He を吹き付けてデブリーの影響を低減することはできても、完全に消すことは困難であると考えられる。

【0007】この他にターゲットに液滴を用いたり(例えば、L. Rymell, et. al., Opt. Comm., 103, 105 (1993) 参照)、Xe クライオ(Xe ガスを固化させたもの)を利用して(例えば、A. Shimoura, et. al., Appl. Phys. Lett., 72, 164 (1998) 参照)、デブリーフリーを目指している例があるが、前者は液滴を構成する原子が原子番号の大きな原子でないことからレーザーエネルギーから X 線への変換効率が低い。また実際に X 線発生量を絶対量計測しているわけではない。

【0008】また後者は高い X 線変換率を達成しているものの、高繰り返しレーザーを用いた場合のターゲット

供給に問題を残している上に、希ガスの氷をターゲットにしているから、レーザー照射の結果生成されるデブリーは素性の悪いものではないが、大きな運動エネルギーを持ったデブリーが飛んでくることに依然変わりはないと考えられるので問題がある。このことは前者に関しても同じである。

【0009】デブリーフリーにするためにガス状ターゲットを利用してX線を発生させているものもあるが（例えば、G. D. Kubiak, et. al., OSA TOPS Extreme Ultraviolet Lithography, 1996 vol.4 p66、特開平10-221499号公報参照）、肝心のX線発生量の評価が曖昧であり、通常のレーザー装置を用いてガスターゲットと相互作用させてもレーザーエネルギーをガスが十分に吸収する理由がないので、実際にX線発生量を大きく取することは困難であるものと考えられる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】上記従来の、高出力レーザーを用いたX線源装置においては、固体状のターゲットを照射したときに高いX線変換率が期待できるが、その際発生するデブリーが問題になる。また、X線リソグラフィに際して使用されるX線光学素子は高価なものが多いと考えられる。さらに装置の長寿命化の観点から、レーザー集光光学素子やX線光学素子のデブリーによる損傷は極力避けなければならないという問題であった。

【0011】本発明は、上記のような従来の問題点を解決することを目的とするものであり、従来のレーザー光励起によるX線発生装置及び方法に比べて、デブリーがきわめて小さい状態で（本明細書中ではこれを「デブリーフリー」という。）の高輝度軟X線源を作り出し、X線変換効率がすぐれ、しかも装置の構造が簡単、小型で低コストなレーザー励起X線発生装置及び方法を実現することである。

【0012】さらに、本発明は、本発明に係るレーザー励起X線発生装置において、高出力のX線を得るために、レーザーの各パルスをつぎ異なるガスクラスターに照射する手段を実現しようとするものである。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記課題を解決するために、真空中にガスを噴出し、該ガスにレーザー光を照射してX線を発生させるレーザー励起X線発生装置であって、真空室と、上記真空室に上記ガスを噴出することによってクラスターを発生させる装置と、上記クラスターに超短パルス高出力レーザーを集光して照射し、上記クラスターを励起してX線を発生するためのレーザー装置と、上記X線を上記真空室から導出する導出部とを有することを特徴とするレーザー励起X線発生装置を提供する。

【0014】さらに、本発明は、上記課題を解決するために、真空中にガスを噴出し、該ガスにレーザー光を照

射してX線を発生させるレーザー励起X線の発生方法であって、上記真空中に上記ガスを噴出することによってクラスターを発生させ、上記クラスターに、レーザー装置によって、超短パルス高出力レーザーを集光して照射し、上記クラスターを励起してX線を発生し、上記X線を上記真空中から導出することを特徴とするレーザー励起X線の発生方法を提供する。

【0015】上記超短パルスは、該超短パルスを上記クラスターに照射した場合、該クラスターが加熱され膨張が始まり局所的な密度が低下しない程度に短い振幅を有することを特徴とする。

【0016】上記超短パルス高出力レーザーの各パルスは、上記クラスターのうち夫々異なるクラスターを照射することにより、全てフレッシュなクラスターを照射し、より高出力のX線を得ることができるようにしてもよい。

【0017】

【発明の実施の形態】発明に係るレーザー励起X線装置及び方法の実施の形態を実施例に基づいて図面を参照して説明する。図1は、本発明に係るレーザー励起X線装置及び方法の実施例を示す。この実施例に係るレーザー励起X線装置では、希ガスボンベ1から希ガス2がパルスガスジェット装置3に供給され、高真空チャンバー4内に噴出する際に希ガスクラスター5が生成される。

【0018】この希ガスクラスター5をターゲットとして、レーザーパルスを照射することでデブリーフリーにした。レーザーパルスは入射窓7を通して高真空チャンバー4に導かれ、高真空チャンバー4内にある集光光学系8によりクラスター部に集光される。

【0019】ところで、従来技術のように希ガスをターゲットとしてレーザーで照射しプラズマを作った場合、プラズマの電子密度は高々 10^{20} cm^{-3} 程度であり、レーザー光線（例えば波長248nm）に対する遮断密度の $1.8 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ に比べ極めて低い。従って、レーザー光はガスジェットをほとんど透過し、レーザーエネルギーはプラズマに吸収されない。この結果、X線へのエネルギー変換効率は極めて低いものとなるのが従来の常識である。

【0020】本発明は、このように従来常識とされていた問題を解決するために、希ガスを真空中に噴出して希ガスクラスターとし、しかもこの希ガスクラスターをターゲットとして超短レーザーパルスを照射し励起するのであり、これに使用する超短レーザーパルスは、この超短パルスを希ガスクラスターに照射した場合、希ガスクラスターが加熱され、膨張が始まり、局所的なその密度が低下しない程度に短い振幅を有するものであり、即ちX線を発光するプラズマの流体運動が無視できる程度に短いパルス幅を有する超短パルス高出力レーザーパルス6を用いる。これにより、励起レーザーパルスの瞬間出力も大きくする。

【0021】この点についてさらに詳細に説明する。真

空中に噴出される超音速ガスジェットは急激な断熱膨張を伴うため凝縮すると考えられており (O. F. Hagena, Rev. Sci. Instrum., 63, 2374 (1992) 参照)、例えば希ガスとしてXeガスを考えた場合、Xeガスジェットはクラスタージェットになっている。例えば背圧5気圧程度では本実験条件下では原子数 10^6 個のクラスターができると見積もられる。固体Xeの原子間距離が4.4オングストロームであることから、生成されるクラスターの直径は55 nm程度ということになる。一方、励起に使用するレーザーの波長は248 nmであり、固体密度プラズマのレーザー光に対する表皮深さと同程度もしくはそれ以下の大きさということになる。

【0022】このことは高出力レーザーが作り出す高強度光電場が局所的な密度が固体密度程度であるXeクラスターを構成する全ての原子に作用することを示す。通常の固体物質では遮蔽効果のため電磁波は中まで進入することができないが、クラスターはサイズが小さいので、全ての原子に電磁波が作用することが可能となる。この結果、クラスターの局所加熱現象が起き、あるいはクワイバー (Quiver) 電子を介在にした多光子的なエネルギーカップリングが発生し、局所密度は高いが平均密度が極めて低いXeクラスタープラズマに超短パルス高出力レーザーのエネルギーが吸収されることになる。

【0023】また、本発明では励起レーザーを紫外線領域の波長のものとしているが、このことは励起レーザー波長をできるだけ短く、即ち、レーザーが作り出す高強度光電場における電界の振動周波数をできるだけ高くすることを意味する。これにより、電界振動とほぼ同位相で高速振動するクラスタープラズマ中の電子 (Quiver電子) の振動周波数を高めて、X線発生効率を高くすることができる。

【0024】特に、本発明では、励起レーザーに紫外線の超短パルス高出力レーザー装置9を用い、上記の通りターゲットに希ガスクラスターを用いることで希ガスクラスターと高強度光電場のコヒーレントな相互作用、あるいはクラスターにおけるマイクロ高密度プラズマにおける異常エネルギー吸収現象を利用して、希薄なクラスターターゲットにレーザーエネルギーをほとんど吸収させた。

【0025】要するに本発明では、励起レーザーに紫外線を使用し、レーザー光とクラスターの相互作用が効率よく行われるため、例えばXeクラスタージェットの場
合、クラスター発生に使用するパルスガスジェット装置の背圧が5気圧程度と低い圧力でレーザー光を十分吸収させることができる。このことは、実用化された場合の真空ポンプやガス回収装置の負担を著しく抑えることができる。

【0026】軟X線発生の変換効率の把握においては、吸収されたエネルギーの大部分は軟X線10に変換されるものと考え、軟X線発生量の絶対量評価を行い、使用

しているレーザーパルスのエネルギーがどの程度軟X線に変換したかを見積もった。これにより、軟X線発光の具体的な平均出力を得た。

【0027】そして、この軟X線は、高真空チャンバー4から導出部 (本実施例の場合は高真空チャンバー4導出用の開口) により、隣接する軟X線露光装置11に導かれ、例えば、半導体露光等に利用する。なお高真空チャンバー4は真空ポンプ12により真空引きされた状態で使用するが、高真空チャンバー4に入射された希ガスをガス回収装置13で回収し、連続運転による高真空チャンバー4内の真空度の悪化を防ぐと同時に再利用ができる。

【0028】ところで、Xeクラスターはガスであり、本発明における条件下のクラスターの大きさは50nm程度と小さく、これが光学素子にダメージを与えることはないと思われる。また、クラスターにおけるエネルギー吸収については、透過エネルギー量計測により評価したところ、希ガスとしてXeガスを使用した場合、パルスガスジェット装置の背圧を5気圧程度にすればクラスターを透過する成分がなくなることが実験的に確かめられた。

【0029】なお、励起レーザーは、上記の通り紫外線領域の超短パルス高出力レーザーであるが、現在使用しているもので最高性能時に平均出力0.5Wが可能である。また世界最高性能のものは平均出力7Wである。従って、エネルギー変換効率が高ければ十分明るいX線源が作れる。実際にX線の発生量を絶対量評価し、具体的にどの程度X線発生があるか見積もることができた。

【0030】本発明の特徴的な構成は以上の通りであるが、本発明を利用して高出力のX線を得る場合には、励起用超短パルス紫外線レーザーそのものの高平均出力化が必要である。従来の常識ならば、超短パルス高出力紫外線レーザーは、超短パルス紫外線種 (たね) パルスを大口径放電エキシマレーザー増幅器に入射し、最終出力を得るが、エキシマレーザーの取り出し可能エネルギー持続時間はおおよそ数十ナノ秒に対して、種パルスのパルス幅がわずか数百フェムト秒であるため、エキシマ増幅器で発生する取り出し可能エネルギーを全て取り出すことはできない。

【0031】そこで、本発明において高出力のX線を得る場合には、超短パルス高出力レーザーを発生するためのレーザー装置として、図7に示すように、種パルス発生用の超短パルス紫外線レーザー装置を用意し、発生した種パルスを反射鏡及びハーフミラー群から成る光学的遅延生成部を用いて、最終出力用の大口径エキシマレーザー増幅器の放電時間 (利得持続時間) 内にマルチパルス (複数のパルス) を有するパルス列としてこの大口径エキシマレーザー増幅器に入射させる。しかも、上記パルス列生成時に夫々のパルスの方向を、各反射鏡、ハーフミラーの反射角度を適宜調節することで、わずかつづらずらして、各パルスがすべて最終段増幅器を通過でき、

かつガスクラスターの照射時にそれぞれ異なるガスクラスターに照射されるようにする。要するに、増幅後各パルスが異なる角度で、ガスクラスターの異なる領域に照射されるようにして、夫々異なるガスクラスターに照射される。

【0032】この結果、増幅器として用いたエキシマレーザーのエネルギーを超短パルスとしてほとんど取り出すことができ、しかも各パルスが夫々異なるガスクラスターに照射されることで、各パルスが全てフレッシュなガスクラスターを照射するようにし、より高出力のX線が得られ、きわめて相乗的、画期的な効果が生じる。

【0033】要するに、本発明において、種パルスを、光学的遅延生成部等の手段により、エキシマレーザー増幅器の放電時間（利得持続時間）内にマルチパルスを有するパルス列とし、しかも上記マルチパルスの夫々が互いに方向がずれたものとして、エキシマレーザー増幅器に入射させるような構成とすれば、エキシマレーザー増幅器の取り出し可能エネルギーが十分取り出せるとともに、超短パルス紫外線レーザーの各パルスが夫々異なる全てフレッシュなガスクラスターに照射され、より高出力のX線を得ることができる、というきわめて相乗的な効果を奏する。

【0034】このように、高出力のX線を得る場合には、上記のようにマルチパルスを有するパルス列を利用する。この場合、上記のように一台の種パルス発生用の超短パルス紫外線レーザー装置と光学的遅延生成部を用いてパルス列を生成してもよいが、複数台の種パルス発生用の超短パルス紫外線レーザー装置で発生した複数の種パルスを大口径エキシマレーザー増幅器に経時的に次々と入射させる構成としてもよい。又、これらの組み合わせ、即ち複数台の種パルス発生用の超短パルス紫外線レーザー装置から発生した種パルスを、夫々光学的遅延生成部によりマルチパルスを有するパルス列とするとともに、これらのパルス列を、適宜、経時的に組み合わせ大口径エキシマレーザー増幅器に次々と入射させるような構成としてもよい。

【0035】（実験例）本発明者は、本発明に係るレーザー励起X線発生装置及び方法について、具体的に、

（1）レーザーエネルギーの吸収計測、及び（2）軟X線分光計測に関し以下のような実験例を実施しその効果を確認した。以下、この実験例を図面を参照して説明する。

【0036】（1）レーザーエネルギー吸収計測
図2は、Xeクラスタージェットの噴出密度の計測結果を示す。クラスタージェットはパルスガスジェット装置を用いて作られるが、クラスタージェットの平均原子数密度はジャマン干渉計測により実測した。パルスガスジェット装置の背圧に比例して噴出されるXeの平均原子数密度が制御できる。

【0037】例えば、背圧が10気圧の場合、X線発生に

使用される位置のXeの平均原子数密度は高々 $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であり、レーザーによるイオン化を考慮しても高々 $\sim 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 程度と見積もれる。これに対し、励起用に使用しているエキシマレーザーに対する遮断電子数密度は $1.8 \times 10^{22} \text{ cm}^{-3}$ である。従って、レーザーパルスでXe原子がイオン化されプラズマが発生しても、ガスジェットターゲットをレーザーは透過できることになる。

【0038】これに対し、図3に示すレーザーの透過エネルギー計測実験の結果、図4に示すように背圧5気圧程度にすればガスジェットターゲットの後ろに抜けてくるレーザーエネルギーがほとんどなくなった。なお、このとき使用したレーザーは波長248nm、出力エネルギー20mJ/pulse、パルス幅350fsの10HzのKrFエキシマレーザーである。

【0039】（2）軟X線分光計測

吸収されたエネルギーは、その後様々なエネルギー形態を取ると考えられるが、従来のレーザープラズマでは励起レーザーに紫外線を用いれば、相当な割合でそのエネルギーが軟X線に変換されるということが分かっている（R. Kodama, et. al., Appl. Phys. Lett., 50, 720 (1987)）。Xeクラスターにおいてもかなりの割合で軟X線に変換されるはずであると推測し、Xeクラスタープラズマから放出される軟X線の分光計測を実施した。

【0040】このポイントはX線発生量の絶対量をできるだけ正確に計り取ることである。図5に示すように、フリースタンド型の金薄膜透過型回折格子を分光素子として使用した。透過型であるからX線の回折効率の評価が単純であり、金薄膜に対する軟X線の透過率がゼロであるから回折効率に波長依存性を考えなくて良い。検出器には背面照射型CCDカメラを使用した。

【0041】クロスチェックのため軟X線専用のフィルム（Kodak Type101）を使用した。このフィルムは保護膜がないため軟X線に対する感度が高く、且つ分光感度が素直である（三浦永祐 他、レーザー研究 21, 1011 (1993)参照）。背面照射型CCDに関してはCCD素子のメーカーが提供した絶対分光感度及び文献（大貫大輔 他、レーザー研究26, 700(1998)参照）考慮した。

【0042】この結果図6に示すスペクトルを得ることができた。この軟X線はXeのN殻遷移輻射群であり、0.5-20 nmの波長領域を積分すればトータルで0.18mJ/sr/pulseであることが分かった。発生X線は等方的放出されるところと考えられるので、このときに使用されたレーザーエネルギー20mJ/pulseから見積もったX線への変換効率はおよそ10%となる。

【0043】使用しているレーザーは10Hzであるから平均出力20mWの軟X線源が実現できたことになる。また、世界最高性能の紫外線超短パルス高出力レーザーは平均出力が7Wである（Y. Nabekawa, et. al., Opt. Lett., 21, 647 (1996). 参照）。これを使用すればおよそ1Wのデブリーフレーザー励起軟X線ランプが作れる。

【0044】

【発明の効果】本発明に係るレーザー励起X線発生装置及び方法は、以上のような構成であるから、従来のレーザー光励起によるX線発生装置及び方法に比べて、デブリフリーで高輝度軟X線源を作り出すことができ、また励起レーザーパワーの1割程度が軟X線に変換され、きわめてX線変換効率がすぐれており、しかも装置の構造が簡単、小型で低コストというきわめて有用な効果を奏する。

【0045】本発明において、超短パルス紫外線レーザーの各パルスを夫々異なる全てフレッシュなガスクラスターに照射するようにすれば、より高出力のX線を得ることができる。

【0046】さらに、本発明に係るレーザー励起X線発生装置及び方法は、X線リソグラフィー露光技術をはじめ、物性研究、バイオインダストリー技術、医療・治療技術等各種の用途に利用可能という点で汎用性も優れている。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係るレーザー励起X線発生装置の実施例を示す図である。

【図2】本発明の実験におけるXeクラスタージェットの噴出密度の計測結果を示すグラフである。

【図3】本発明の実験におけるレーザーの透過エネルギー*

* 一計測手法を示す図である。

【図4】本発明の実験におけるレーザーの透過エネルギー計測結果を示すグラフである。

【図5】本発明の実験におけるX線発生量の計測使用した分光素子であるフリースタンド型の金薄膜透過型回折格子を示す図である。

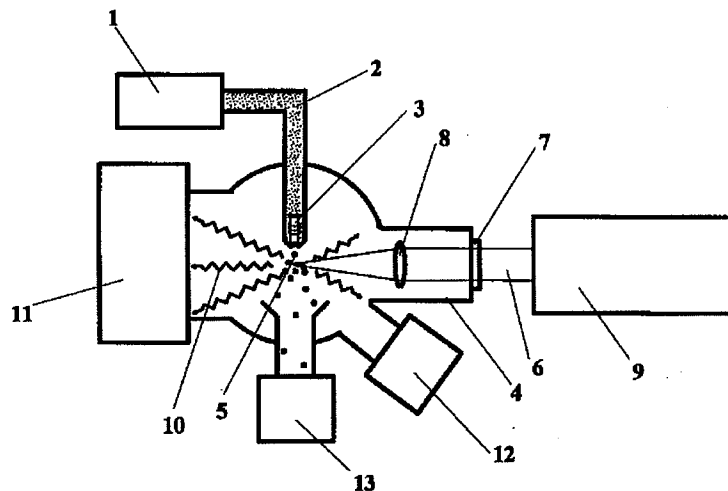
【図6】本発明の実験におけるXeクラスタープラズマから放出される軟X線の分光計測の結果を示す図である。

【図7】本発明において、高出力のX線を得る場合のレーザー装置を説明する図である。

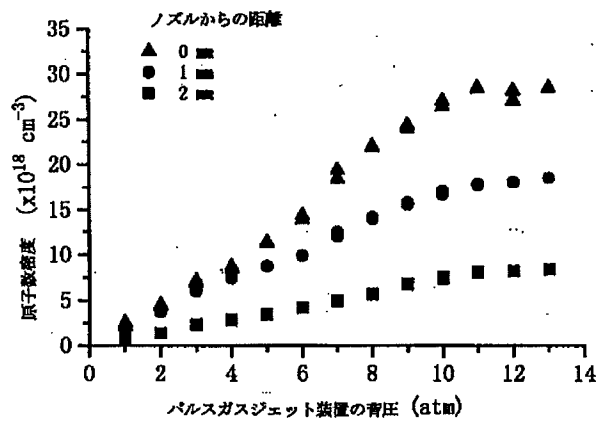
【符号の説明】

- | | |
|----|-------------------|
| 1 | 希ガスボンベ |
| 2 | 希ガス |
| 3 | パルスガスジェット装置 |
| 4 | 高真空チャンバー（真空室） |
| 5 | 希ガスクラスター（クラスター） |
| 6 | 超短パルス高出力レーザーパルス |
| 7 | レーザーパルスの入射窓 |
| 8 | 集光光学系 |
| 9 | 高出力レーザー装置（レーザー装置） |
| 10 | 軟X線 |
| 11 | 軟X線露光装置 |
| 12 | 真空ポンプ |
| 13 | ガス回収装置 |

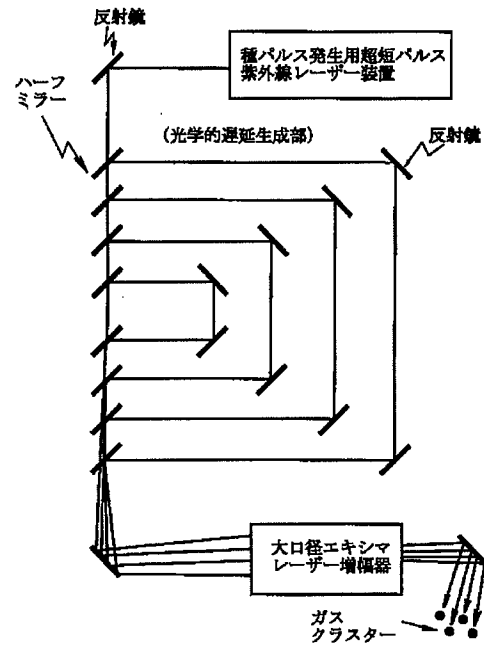
【図1】



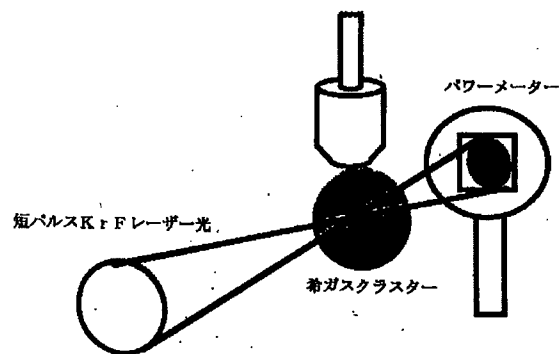
【図2】



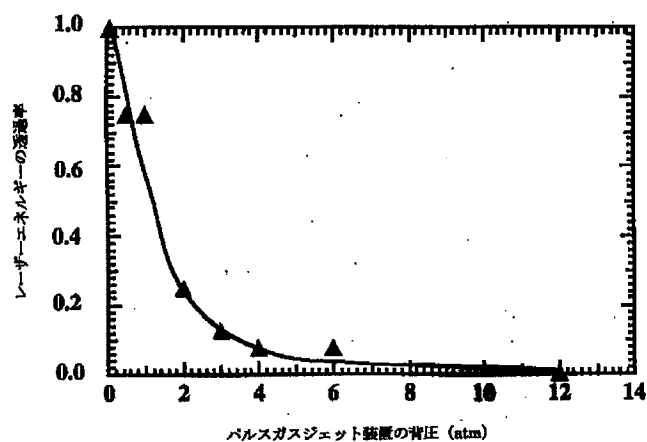
【図7】



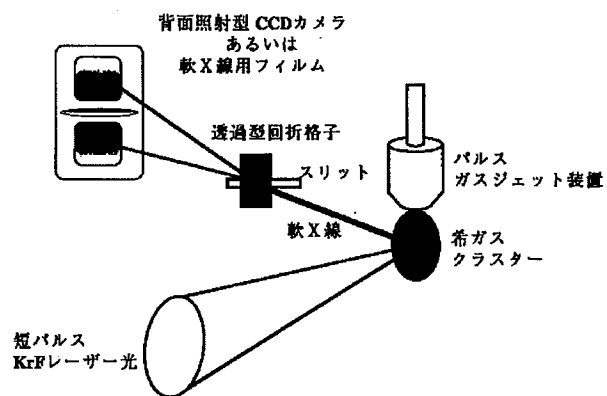
【図3】



【図4】



【図5】



【図6】

